# بررسی تاثیر اضافه شدن تترااتیل اورتوسیلیکات (TEOS) بر ساختار میکروسکوپی و خواص لومینسانس نانو ذرات مواد فسفری $Y_2O_3: Tb^{3+}$ ★

**مقاله علمی – پژوهشی**

سید مهدی رفیعائی[(۱)]


## چکیده

*در این پژوهش ابتدا نانو پودر $Y_2O_3: Tb^{+3}$ با اندازه تقریبی ذرات ۸۰ نانومتر به روش سل-ژل فرآوری گردید. سپس از طریق اضافه نمودن تترااتیل اورتوسیلیکات (TEOS) به مواد اولیه مورد نظر، ترکیبات دوپ شده YSO در حضور مقادیر مختلفی از فاز $SiO_2$ تولید و ساختار کریستالی و میکروسکوپی و همچنین خواص لومینسانس مواد تولید شده مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور مطالعه فازهای تشکیل شده و همچنین اندازه ذرات و مورفولوژی ساختارهای سنتز شده $Y_2O_3: Tb^{+3}$ و ترکیبات $YSO: Tb^{+3}$، به ترتیب آنالیزگر پراش با اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق بصورت جالبی دیده شد که افزودن سیلیکا باعث رشد چشمگیری در اندازه دانه ها می‌گردد و این اندازه به حدود ۴۰۰-۳۰۰ نانومتر می‌رسد. ضمنا با به‌خدمت‌گیری یک آنالیزگر خواص فتو لومینسانس، خواص نوری این مواد مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت مشخص شد که در حالتیکه مقدار فاز $SiO_2$ مصرفی به اندازه استوکیومتری لازم جهت تشکیل $Y_2SiO_5$ باشد بالاترین شدت انتشار حاصل شده و مقادیر بیشتری از $SiO_2$ به کاهش این شدت منجر می‌گردد.*


**واژه های کلیدی** سل-ژل، خواص نوری، لومینسانس، نانو، مواد فسفری.

## Study of Addition of Tetraethyl Orthosilicate (TEOS) on Microstructure and Iuminescence Properties of Nanoparticles of $Y_2O_3$: $Tb^{3+}$ Phosphor Materials

S. M. Rafiaei


**Abstract**

In this investigation, firstly $Y_2O_3$: $Tb^{+3}$ nano-powders with the approximate size of 80 nm was synthesized via sol-gel approach. Then, with the addition of Tetraethyl orthosilicate (TEOS) to the considered raw materials, the doped YSO compounds were produced in the presence of different amounts of $SiO_2$ and crystallographic and microscopic structure and also the luminescence properties of the produced materials were evaluated. To study the formed phases and also particle size and morphology of $Y_2O_3$: $Tb^{+3}$ and YSO: $Tb^{+3}$ synthesized structures, X-ray diffraction (XRD) and field emission scanning electron microscope (FESEM) were used. In this research, interestingly it was seen that the addition of silica results in the severe grain growth and this size reaches to 300-400 nm. In addition, with the employment of photoluminescence analyzer, the optical properties of these materials were studied. Finally, it was determined that in a case that the quantity of consumed $SiO_2$ phase is equal to the stoichiometric values required for the formation of $Y_2SiO_5$, the highest emission intensity is achieved and the higher amounts of $SiO_2$ leads to the reduction of intensity.


**Key words** Sol-Gel, Optical Properties, Luminescence, Nano, Phosphor Materials.

★ تاریخ دریافت مقاله ۹۷/۳/۲۵ و تاریخ پذیرش آن ۹۸/٤/۱۷ می‌باشد.

(۱) نویسندهٔ مسئول، استادیار، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی گلپایگان، گلپایگان، اصفهان.

**Email:** rafiaei@gut.ac.ir

**DOI:** 10.22067/ma.v31i1.73528

## مقدمه

در سالهای اخیر فسفرها با خواص بسیار متنوع و مطلوبی که از خود نشان داده اند کاربردهای بسیار وسیعی در صنایع مختلف پیدا نموده اند [4-1]. از جمله این کاربردها می‌توان به قطعات الکترونیکی، لیزرهای حالت جامد، ال‌ای‌دی‌ها، سلولهای خورشیدی، حسگرهای نوری و نمایشگرها اشاره نمود. خواص لومینسانس این فسفرها معمولا از طریق دوپ کردن عناصر نادر خاکی و یا لانتانایدها تامین می‌گردد. از جمله این عناصر می‌توان به یوروپیم، سریم، گادالانیم و دیسپرسیم اشاره نمود که این عناصر در لایه آخر تراز الکترونی خود دارای اربیتال‌های می‌باشند. بطور کلی $Y_2O_3$ به عنوان یک ماده اکسیدی میزبان در تولید مواد فسفری شناخته شده است که می‌تواند عناصر مختلفی از لانتانایدها را در خود جای داده و دارای کاربردهای متعددی در زمینه های صفحات نمایش با وضوح و کارایی بالا، تقویت سلولهای خورشیدی، دیودها، حسگرهای نوری، لیزر و همچنین مواد زیست سازگار باشد [11-5]. در واقع این ماده اکسیدی که دارای شبکه کریستالی مکعبی است خواص نوری جالبی از خود نشان می‌دهد و به‌همین واسطه به شدت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. مروری بر منابع نشان می‌دهد که اکسید ایتریم توسط روش‌های متنوعی مانند سنتز احتراقی، هایدروترمال، سل–ژل، حالت جامد و الکترووریسی قابل تولید می‌باشد [20-12]. دربین تکنیک‌های مذکور، روش سل–ژل دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا با امکانات نسبتا ساده‌ای به‌آسانی قابل اجرا می‌باشد. به بیان دیگر برای فرآوری مواد فسفری از این تکنیک، نیازی به استفاده از دماهای بالا و همچنین تجهیزات گران قیمت نیست و لذا این روش به‌لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به‌صرفه و مناسب می‌باشد. همانطور که قبلا نیز به آن اشاره شد عناصر نادر خاکی متعددی به‌عنوان ناخالصی و عامل ایجاد خواص لومینسانس می‌توانند به ایتریا اضافه شوند. نکته قابل توجه آنست‌که این عناصر معمولا دارای قیمت بسیار بالایی هستند و اگرچه میزان مصرف آنها کم است ولی نقش مهمی در افزایش قیمت تمام شده این مواد ایفا می‌نمایند. یکی از راه‌کارهای کاهش قیمت این مواد فسفری استفاده از اضافه شونده‌هایی ارزان قیمت است که از جمله این مواد میتوان به اکسید سیلیسیم اشاره نمود. با توجه به این واقعیت که عنصر سیلیسیم دارای فراوانی بسیار بالایی در پوسته کره زمین است اکسید آن دارای قیمت بسیار پایینی می‌باشد. از طرف دیگر باید بدانیم که مطابق با تحقیقات انجام شده، $SiO_2$ خنثی بوده و باعث بروز اختلالی در خواص نوری مواد فسفری نمی‌گردد [21]. مطابق با نتایج حاصل از پژوهش‌هایی که قبلا در این زمینه انجام شده است، افزودن سیلیکا به مواد لومینسانس علاوه بر کاهش هزینه تمام شده این مواد، منجر به تقویت رفتار تحریک و انتشار آنها می‌گردد [22].

بر اساس این مقدمه، در این پژوهش ابتدا $Y_2O_3{:}\ Eu^{+3}$ به‌عنوان ماده مرجع با استفاده از روش سنتز سل–ژل فرآوری گردید. سپس از طریق اضافه نمودن TEOS به مواد اولیه مورد نظر، ترکیبات YSO در حضور مقادیر مختلفی از سیلیکا تولید و در نهایت فازهای کریستالی، ساختار میکروسکوپی و خواص فتولومینسانس این مواد مورد مطالعه و واکاوی قرار گرفت. برای این منظور مشخصه‌یاب طیف‌های پراش (توسط اشعه ایکس)، میکروسکوپ الکترونی روبشی و همچنین آنالیزگر خواص لومینسانس به‌خدمت گرفته شدند.

## مراحل آزمایشگاهی

### سنتز نانو مواد

برای تولید نانو پودر $Y_2O_3{:}Tb^{+3}$ روش سل–ژل در مورد استفاده قرار گرفت. مواد اولیه شامل $Y(CH_3COO)_3.H_2O$، $Tb(CH_3COO)_3.H_2O$ و TEOS ($SiC_8H_{20}O_4$) می‌باشند که این مواد با بالاترین درجه خلوص ممکن ازشرکت سیگما آلدریچ خریداری و بدون هرگونه تغییری مورد استفاده قرار گرفتند. برای این منظور محلولی متشکل از $Y(CH_3COO)_3.H_2O$، $Tb(CH_3COO)_3.H_2O$ در مقادیر بسیار اندکی آب مقطر حل شده و سپس با اضافه نمودن اسید نیتریک در شرایطی که محلول تحت اغتشاش قرار داشت، pH محلول به حدود ۱ کاهش پیدا نمود. پس از آن مقادیر محاسبه شده‌ای از TEOS به‌همراه اتانول به محلول متلاطم اضافه گردید تا محلولی شفاف که سل نامیده می‌شود به‌دست

آمد. محلول حاصل در دمای اتاق نگهداری شد تا ژل مورد نظر تولید گردد. واضح است برای تولید $Y_2O_3:Tb^{+3}$ مراحل فوق بدون استفاده از TEOS انجام گردید. سپس محصول حاصل در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد در یک آون به‌مدت ۳ روز حرارت داده شد تا کاملا خشک گردد. در نهایت نیز به‌منظور حذف مواد آلی باقیمانده و همچنین رسیدن به ساختار کریستالی مناسب، محصولات به دست آمده در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱ ساعت حرارت داده شد. در جدول (۱) ترکیبات $Y_2O_3:Tb^{3+}$ و $YSO:Tb^{3+}$ فرآوری شده با کدهای A-F نشان داده شده‌اند.

جدول ۱ کد و ترکیب مواد سنتز شده

| کد | ترکیب | R |
|---|---|---|
| A | $Y_2O_3:Tb^{3+}$ | 0 |
| B | $Y_2O_3:Tb^{3+}/SiO_2$ | 0.25 |
| C | $Y_2O_3:Tb^{3+}/SiO_2$ | 0.5 |
| D | $Y_2O_3:Tb^{3+}/SiO_2$ | 1 |
| E | $Y_2O_3:Tb^{3+}/SiO_2$ | 2 |
| F | $Y_2O_3:Tb^{3+}/SiO_2$ | 4 |

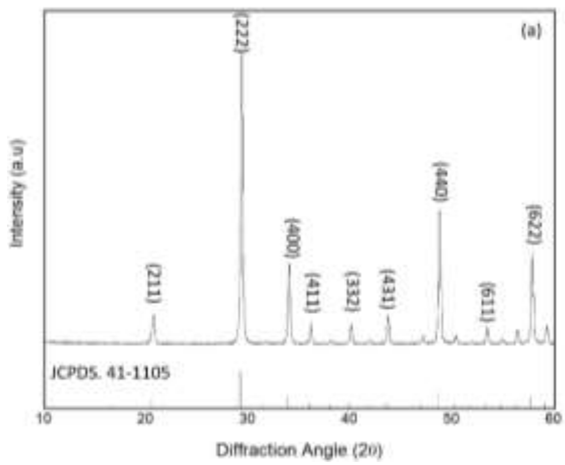
در جدول فوق پارامتر R نشـــان دهنده نســـبت میزان $SiO_2$ مصـــرفی به اندازه اســـتوکیومتری لازم این ماده برای تشکیل ترکیب $Y_2SiO_5$ می‌باشد.

## آنالیز مواد

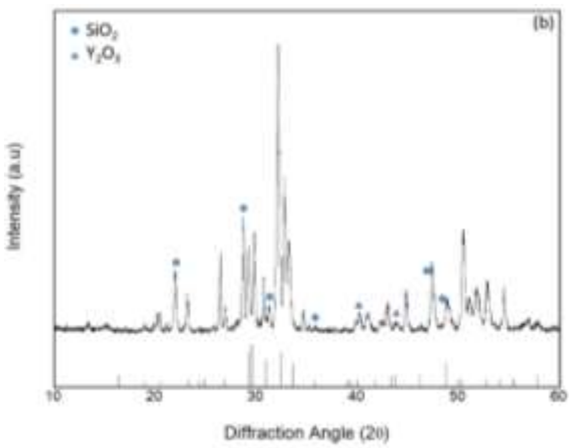
ساختار مواد تولید شده تو سط د ستگاه پراش ا شعه ایکس (XRD Rigaku D/Max-3C) و بـا طول موج nm $\lambda =$ ۰/۱۵٤ با آند دوار و منبع تابش مسی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با به‌خدمت گرفتن میکروسـکوپ الکترونی روبشـــی (FESEM، ZEISS SUPRA 55VP, Germany) مورفولوژی سـاختارهای حاصـل مطالعه شـد. در نهایت نیز طیف تحریک و انتشار مواد فسفری حاصل با استفاده از یک آنالیزگر فتولومینسانس (PL Horiba Jobin Yvon Japan) -Fluorolog حاصل گردید.

## نتایج و بحث

**نتایج XRD.** شکل (۱) طیف‌های XRD مربوط به نمونه های A و D را نشان می‌دهد. مطابق با شکل (۱–الف) واضح است که در شرایطی که از ماده TEOS در تولید مواد فسفری استفاده نشود پیک‌های موجود به‌خوبی از الگوی تفرق JCPDS با شماره ۱۱۰۵–٤۱ که متعلق به Y2O3 می‌باشد تبعیت می‌نماید. در این تصویر صفحات اصلی تفرق نشان داده شده‌اند که شامل صفحات (۲۱۱)، (۲۲۲)، (٤۰۰)، (٤۱۱)، (۳۳۲)، (٤۳۱)، (٤٤۰)، (٦۱۱) و (٦۲۲) هستند. اما شکل (۱–ب) نشان می‌دهد که به‌تدریج با افزودن مقادیر مشخصی از سیلیکا، الگوی تفرق کاملا تغییر می‌کند.




(الف)



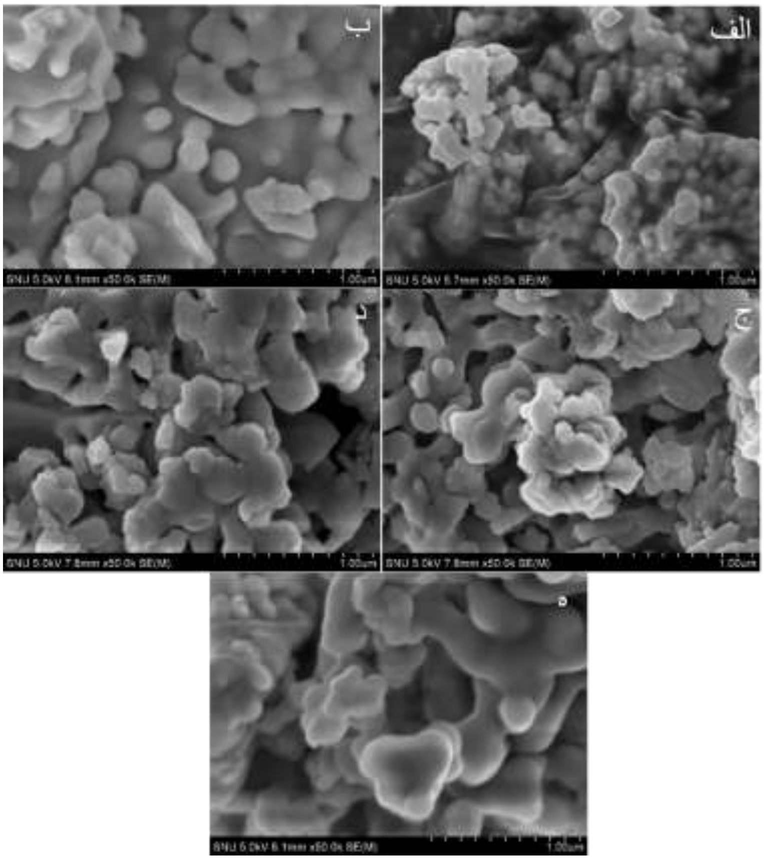

(ب)

شکل ۱ نمودارهای XRD مربوط به نمونه های الف) A و ب) D پس از حرارت دادن در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد

نکته قابل توجه آنست‌که ماده حاصل تطابق کاملی با الگوی تفرق JCPDS با شماره ۱٤٥٦-۲۱ (که متعلق به $Y_2SiO_5$ است) ندارد. در واقع با توجه به الگوی پیک‌های تفرق شماره کارت ۱٤۲٥-۳۹ که متعلق به $SiO_2$ می‌باشد این واقعیت روشن می‌شود که پیک‌هایی که در زوایای (2θ) ۲۱/۹۸، ۲۸/٤٤، ۳۱/٤٦، ۳٦/۰۸، ٤۷/۰٦ و ٤۸/٦۱ دیده می‌شوند نشان دهنده حضور سیلیکا در ترکیب فرآوری شده می‌باشند. ضمنا همانطور که در این شکل به تصویر کشیده شده است، پیک‌هایی نیز متعلق به ماده اکسیدی $Y_2O_3$ می‌باشند. لذا در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که ماده فرآوری شده ترکیبی از $Y_2O_3$، $Y_2SiO_5$ و $SiO_2$ می‌باشد.

### مشاهدات میکروسکوپی

شکل (۲) تصویر حاصل از مطالعه میکروسکوپی مواد سنتز شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی را نشان می‌دهد. واضح است که ماده A که فاقد اکسید سیلیسیم می‌باشد دارای اندازه تقریبی ذرات ۸۰ نانومتر است. بصورت جالبی مشاهده می‌گردد که اندازه این ذرات به‌تدریج با افزایش میزان اکسید سیلیسیم افزایش یافته است. در نهایت دیده می‌شود که در نمونه های E و F اندازه ذرات رشد چشمگیری یافته و به حدود ٤۰۰-۳۰۰ نانومتر رسیده‌اند. نگاهی اجمالی به این تصاویر نشان می‌دهد که نوعی بهم چسبیدن ذرات و آگلومراسیون بین ذرات سنتز شده اتفاق افتاده است. در حقیقت اضافه شدن TEOS ضمن تولید ترکیبات YSO باعث نوعی جوش خوردن ذرات مواد فسفری $Y_2O_3:Tb^{+3}$ شده است. همچنین دیده می‌شود که با افزودن TEOS سطح ذرات فرآوری شده هموارتر، مسطح‌تر و عاری از پستی و بلندی‌های میکروسکوپی شده است که این امر بر تقویت خواص نوری مواد فسفری مؤثر است[23] .

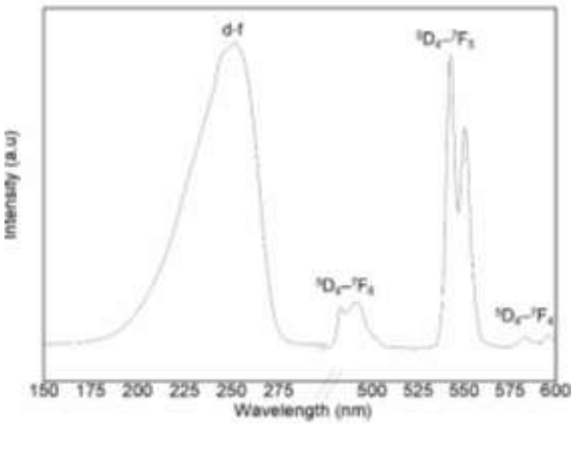



شکل ۲ تصاویر FESEM مربوط مواد فسفری مختلف الف) A ب) B ج) C د) D ه)E

## خواص لومینسانس

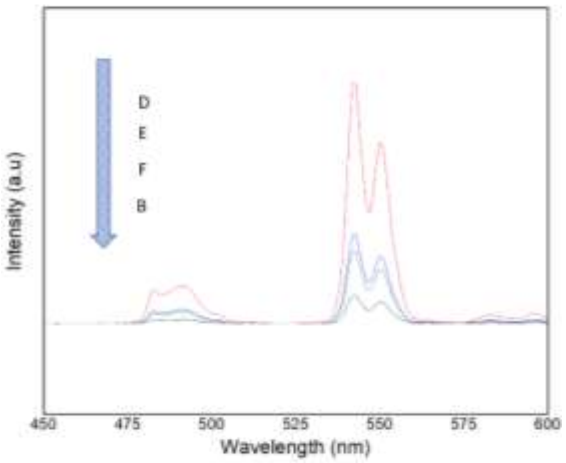
نمودار کلی طیف‌های تحریک و انتشار ماده $Y_2SiO_5:Tb^{+3}$ در شکل (۳) نشان داده است. دیده می‌شود که در محدوده طول موج ۱۷۵ تا ۲۸۰ نانومتر پیک قدرتمند و عریضی وجود دارد که مربوط به رفتار تحریک این ماده است. این پیک که حداکثر شدت آن در طول موج ۲۵۰ نانومتر رخ داده، ناشی از d-f است. قسمت راست این نمودار نشان می‌دهد که در شرایطی که این ماده تحت طول موج ۲۵۰ نانومتر تحریک شود، انتشاری در محدوده ٤٥٠ تا ٦٠٠ نانومتر از خود بروز می‌دهد که پیکهای این ناحیه متعلق به $^5D_4–^7F_J$ (J=6,5,4) می‌باشند. بررسی تغییرات شدت انتشار بر حسب طول موج در این مواد نشان می‌دهد که قوی‌ترین پیک انتشار در طول موج تقریبی ٥٤١/٥ نانومتر رخ می‌دهد و متعلق به انتقال دو قطبی $^5D_4–^7F_5$ است [24].

بعلاوه، پیک‌های نسبتاً ضعیف‌تری نیز در ٤٨١، ٤٩٠، ٥٨٠ و ٥٩٥ نانومتر دیده می‌شوند که مربوط به سایر دوقطبی‌ها یعنی $^5D_4–^7F_6$ و $^5D_4–^7F_4$ می‌باشند و در مقایسه با $^5D_4–^7F_5$ از اهمیت کمتری برخوردار هستند.




شکل ۳ نمودار کلی طیف‌های تحریک و انتشار مواد $Y_2SiO_5:Tb^{+3}$

در شکل (٤) نمودار انتشار طیف مربوط به مواد $Y_2O_3:Tb^{+3}/Y_2SiO_5:Tb^{+3}$ که در حضور مقادیر مختلفی از TEOS فرآوری شده‌اند نشان داده شده است. برای بررسی رفتار لومینسانس، نمودار انتشار زمانیکه این مواد تحت طول موج تحریک یاد شده (۲۵۰ نانومتر) قرار گرفتند در نظر گرفته شد. مقایسه این نمودارها نشان می‌دهد که بیشترین شدت انتشار مربوط به ترکیب D می‌باشد. در واقع زمانی که نسبت $SiO_2$ مصرفی به میزان استوکیومتری آن برای تشکیل $Y_2SiO_5$ برابر ۱ باشد بالاترین میزان انتشار حاصل می‌گردد. این تقویت رفتار انتشار به دلیل افزایش اندازه ذرات و همچنین هموار شدن سطح ذرات می‌باشد [23].




شکل ٤ نمودار انتشار طیف مربوط به مواد $Y_2O_3:Tb^{+3}/Y_2SiO_5:Tb^{+3}$ که در حضور مقادیر مختلفی از TEOS فرآوری شده اند (زمانیکه طول موج تحریک برابر ۲۵۰ نانومتر باشد)

پس از آن با افزایش میزان $SiO_2$ شدت انتشار این مواد کاهش می‌یابد (نمونه‌های E و F) که این رفتار با حضور ناخاصی‌های سیلیکایی در مجاورت $Y_2SiO_5$ قابل توجیه می‌باشد. ذکر این نکته لازم است که کاهش شدت انتشار یاد شده به این مفهوم است که اثر مخرب ناشی از ناخالصی‌ها بر اثرات مثبتی که رشد و هموار شدن ذرات بر شدت انتشار مواد فسفری داشته‌اند غالب می‌باشد. در نهایت نیز مشاهده می‌گردد که کمترین شدت انتشار مربوط به نمونه B می‌باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که حضور ناخالصی‌های سیلیکایی منجر به کاهش چشمگیر شدت انتشار می‌گردد. به بیان دیگر با توجه به جدول (۱) واضح است که در نمونه B میزان سیلیکای مصرفی برای تشکیل ترکیبات YSO کافی نمی‌باشد و لذا سیلیکای اضافه شده به‌شکل ناخالصی وجود خواهد

داشت.

## نتیجه گیری

در این تحقیق نانوذرات $Y_2O_3$: $Tb^{+3}$ به روش ســـل-ژل فرآوری گردید. سپس با ا ضافه نمودن TEOS به مواد اولیه مورد نظر، ترکیبـات $Y_2O_3$/ YSO تولیـد گردیـد. در این پژوهش بصورت جالبی دیده شد که افزودن مقادیر مختلفی از سیلیکا باعث ر شد چ‌شمگیری در اندازه دانه‌ها از حدود ۸۰ به ۴۰۰ نانومتر می‌گردد. در نهایت نیز نشان داده شد که بالاترین و پایین‌ترین مقادیر شـــدت انتشـــار مواد YSO در ترکیبات D و B یعنی زمانیکه نسبت میزان $SiO_2$ مصرفی به اندازه اســـتوکیومتری لازم این ماده برای تشـــکیل ترکیب $Y_2SiO_5$ به ترتیب برابر ۱ و ۰/۲۵ باشد رخ می‌دهد.

## تقدیر و تشکر

از حمایت‌های بســیار زیاد ســرکار خانم شــهزاد ملک پور کوپائی مراتب قدردانی بعمل می‌آید.

## مراجع


1. Zhang X., Fu Y., Zhao Z., Yang J., Li N., Zhang M., "Statistical design for the optimization of the red to orange ratio in $YBO_3$: $Eu^{3+}$ phosphors", *Journal of Luminescence*, Vol. 194, pp.311-315 (2018).
2. Yano K., Takeshita S., Iso Y., Isobe T., "Combinatorial optimization of the atomic compositions for green-emitting $YBO_3$:$Ce^{3+}$,$Tb^{3+}$ and red-emitting $YBO_3$:$Ce^{3+}$,$Tb^{3+}$,$Eu^{3+}$ phosphors using a microplate reader", *RSC. Adv*. Vol. 7, pp. 17586-17592 (2017).
3. Rafiaei S.M., Kim A., Shokouhimehr M., "Enhanced luminescence Properties of Combustion Synthesized $Y_2O_3$:Gd Nanostructure", *Current Nanoscience*, Vol. 12, pp. 244-249 (2016).
4. Shokouhimehr M., Rafiaei S.M., "Combustion synthesized $YVO_4$:$Eu^{3+}$ phosphors: effect of fuels on nanostructure and luminescence properties", *Ceramics International*, Vol. 43, pp. 11469-11473 (2017).
5. Dai Q.L., Foley M.E., Breshike C.J., Lita A., Strouse G.F., "Ligand-passivated Eu:$Y_2O_3$ Nanocrystals as a Phosphor for White Light Emitting Diodes", *Journal of American Chemistry Society*, Vol.133, pp. 15475-15486 (2011).
6. Qin X.P., Zhou G.H., Yang H., Yang Y., Zhang J., Wang S.W., "Synthesis and upconversion luminescence of monodispersed, submicron-sized $Er^{3+}$:$Y_2O_3$ spherical phosphors", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 493, pp. 672-677 (2010).
7. Singh, V., Rai, V. K., Ledoux-Rak, I., Watanabe, S., Gundu, Rao, T. K., Chubaci, J., Badie, L., Pelle, F., Ivanova, S., "NIR to visible up-conversion, infrared luminescence, thermoluminescence and defect centres in $Y_2O_3$ : Er phosphor", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 42, pp. 065104-065112 (2009).
8. Vetrone F., Boyer J.C., Capobianco J.A., Speghini A., Bettinelli M., "A spectroscopic investigation of trivalent lanthanide doped $Y_2O_3$ nanocrystals", Nanotechnology, Vol. 15, pp. 75–81 (2004).
9. Som S., Sharma S.K., "$Eu^{3+}$/$Tb^{3+}$-codoped $Y_2O_3$ nanophosphors: Rietveld refinement, bandgap and photoluminescence optimization", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 45, pp. 415102-415112 (2012).

10. Atabaev T.S., Hwang Y.H., Kim H.K., "Color-tunable properties of $Eu^{3+}$- and $Dy^{3+}$-codoped $Y_2O_3$ phosphor particles", *Nanoscale Research Letters*, Vol. 7, pp. 556-562 (2012).
11. Sukul P.P., Mahata M.K., Kumar K., "NIR optimized dual mode photoluminescence in Nd doped $Y_2O_3$ Ceramicphosphor", *Journal of Luminescence,* Vol. 185, pp. 92–98 (2017).
12. Gao L., Wang G., Zhu H., Zhou W., Ou G., "Hydrothermal synthesis of $Y_2O_3$ coated $Y_2O_3$:$Eu^{3+}$ nanotubes for enhanced photoluminescence properties". Materials Research Bulletin, Vol. 70, pp. 876–880 (2015).
13. Mancic L., Lojpur V., Marinkovic B.A., Dramicanin M.D., Milosevic O., "Hydrothermal synthesis of nanostructured $Y_2O_3$ and $(Y_{0.75}Gd_{0.25})_2O_3$ based phosphors", Optical Materials, Vol. 35, pp. 1817-1823 (2013).
14. Vazquez R.M., Hernandez M.G., Marure A.L., Camacho P.Y.L., Ramirez A.D.J.M., Conde H.I.B., "Sol-Gel Synthesis and Antioxidant Properties of Yttrium Oxide Nanocrystallites Incorporating P-123", *Materials*, Vol. 7, pp. 6768-6778 (2014).
15. Koo H.Y., Ju S.H., Hong S.K., Jung D.S., Kang Y.C., Jung K.Y., "Effect of Boric Acid Flux and Drying Control Chemical Additive on the Characteristics of $Y_2O_3$: Eu Phosphor Particles Prepared by Spray Pyrolysis", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 45, pp. 9083-9087 (2006).
16. Rafiaei S.M., Kim A., Shokouhimehr M., "Enhanced luminescence Properties of Combustion Synthesized $Y_2O_3$:Gd Nanostructure", *Current Nanoscience*, Vol. 12,pp. 244-249 (2016).
17. Shokouhimehr M., Rafiaei S.M., "Combustion synthesized $YVO_4$:$Eu^{3+}$ phosphors: effect of fuels on nanostructure and luminescence properties", *Ceramics International,* Vol. 43, pp. 11469-11473 (2017).
18. Kabira M., Ghahari M., Afarani M.S., "Co-precipitation synthesis of nano$Y_2O_3$:$Eu^{3+}$ with different morphologies and its photoluminescence properties", *Ceramics International*, Vol. 40, pp. 10877–10885 (2014).
19. Pang Q., Shi J., Liu Y., Xing D., Gong M., Xu N., "A Novel Approach for Preparation of $Y_2O_3$:$Eu^{3+}$ Nanoparticles by Microemulsion-Microwave Heating", *Materials Science and Engineering B*, Vol. 103, pp. 57-61 (2003).
20. Yu H., Wang H., Li T., Che R., "Preparation and luminescent properties of $YBO_3$: Eu nanofibers by electrospinning", *Applied Physics A*, Vol. 108, pp. 223 -227 (2012).
21. Ogi T., Nandiyanto A.B.D, Okino K., "Towards better phosphor design: effect of $SiO_2$ nanoparticles on photoluminescence enhancement of YAG:Ce". *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, Vol. 2, pp. 91–95 (2013).
21. Rafiaei S.M., Kang S., "Effect of nano-sized $SiO_2$ on the optical properties of $YVO_4$:$Eu^{3+}$ phosphors", *Composite Interfaces*, Vol. 24, pp. 319–333 (2017).
22. Do H.S., Kim E.J., Hong S.H., "Improved moisture resistance of SrS:$Eu^{2+}$ phosphors with nanoscale $SiO_2$ coating", *Journal of Luminescence*, Vol. 130, pp. 1400–1403 (2010).

23. Jiang L., Zhang Z., Xiao Y., Wang Q., "Novel templates directed synthesis of $YVO_4$: $Eu^{3+}$ (red) and $Y_2O_3$–$SiO_2$: $Tb^{3+}$(green) phosphors", *Journal of Luminescence*, Vol. 132, pp. 2822–2825 (2012).